

INTRODUCTION

À chaque époque l'humanité a couru après l'énergie : la production du feu, l'électricité, la machine à vapeur, la fission nucléaire.

Un des enjeux majeurs du 21ème siècle est la production d'une énergie abondante économique et écologique. ITER est l'un des projets qui tente de développer la fusion nucléaire pour répondre à cet enjeu. Les scientifiques doivent utiliser leurs connaissances en thermodynamique, en physique nucléaire, et répondre à de multiples défis qui se posent à chaque étape : comment créer du plasma, comment le confiner, comment ensuite l'exploiter ? ITER est donc une étape de cette aventure révolutionnaire .

1. La fusion

A/Définition

La réaction de fusion nucléaire est actuellement déjà notre principale source d'énergie puisqu'au cœur du fonctionnement des étoiles et de notre soleil, c'est elle qui nous chauffe et nous éclaire.

La fusion nucléaire consiste en l'association de 2 noyaux légers pour former un nouveau noyau plus lourd et libérer de l'énergie.

Au sein des galaxies, des étoiles se forment à partir de masses de gaz qui s'effondrent sous l'effet de leur propre gravité.

Au départ l'étoile est donc une masse d'hydrogène.

La gravité provoque une forte pression .

Cette pression chauffe l'hydrogène.

Ces conditions de pression et de température vont permettre aux noyaux d'hydrogène de commencer à fusionner, et de former des atomes d'hélium.

Pendant 95% de sa vie, l'étoile va ainsi transformer l'hydrogène en hélium, c'est ce qu'on appelle sa séquence principale.

Notre soleil fusionne l'hydrogène depuis 5 milliards d'années et devrait continuer encore 5 milliards d'années.

Une étoile comme le soleil fusionne chaque seconde environ 600 millions de tonnes d'hydrogène et produit 596 millions de tonnes d'hélium.

Il manque donc 4 millions de tonnes. Cette différence de masse est convertie en énergie par rayonnement, à l'origine de la chaleur et de la lumière.

B/mécanismes intimes de la fusion et libération d'énergie.

Des conditions de température et de pression s extrême sont d'abord nécessaires pour que la fusion soit possible. Dans le soleil la température est de 100 millions et la pression égale 200 milliards de fois la pression atmosphérique.

dans ces conditions, le gaz entre alors dans le 4ème état de la matière ou plasma. La structure noyau-électron se dissocie, l'électron devient libre et le noyau positif, le gaz est dit« ionisé ».

Les noyaux entrent en collision

Dans le plasma les protons de l'hydrogène sont libres et vont produire des isotopes de l'hydrogène et de l'hélium, des neutrons, des rayonnements.

quantification de l'énergie

prenons la réaction : $4\text{H} \rightarrow \text{He} + \text{E}$, dans cette réaction deux protons sont devenus des neutrons

si on prend une masse d'hydrogène d'1kg, on produit environ 993g d'hélium il manque environ 7 g.

Cette masse est transformée en énergie selon la formule

$E = mc^2$ =environ 6.10.14 Joules

la fusion d'un kilo d'hydrogène équivaut donc à la combustion de 20 000 tonnes de charbon

2 Projet ITER

A/ Historique et contexte

Actuellement nos sources d'énergie sont fossiles (pétrole et charbon), renouvelables (éoliennes et solaire), et la fission nucléaire. Toutes présentent des inconvénients : épuisable, faible rendement, dangerosité, déchets, ..etc La fusion pourrait n'avoir aucun de ces inconvénients.

Le projet ITER est une mission internationale depuis 1985 qui a pour objectif de produire et maîtriser le plasma pour permettre la fusion, afin de produire et stocker de l'énergie

B/ Conception du TOKAMAK et contraintes thermodynamiques

Le tokamak est la machine de production du plasma. Le premier modèle date de 1960. Son rôle est de chauffer à plus de 150 millions de degrés un mélange de deutérium et de tritium.

Pour obtenir du plasma,

Il faut :

- obtenir de très hauts niveaux de pression et température,
- utiliser le moins d'énergie possible pour que le rendement soit positif (que le fonctionnement de la machine consomme moins d'énergie qu'elle ne produit)
- Utiliser des techniques et matériaux résistants et utilisables pour le transfert thermique pour la conversion de l'énergie.

Il faut produire le plasma dans une zone confinée :

pour atteindre de très hauts niveaux de pression
et pour que la paroi ne touche pas le plasma

Dans le tokamak d'ITER on utilise le confinement magnétique.

C'est une machine en forme d'anneau métallique creux (tore).

A l'intérieur se trouve l'hydrogène

Des bobines sont installées autour de l'anneau et parcourues par un courant électrique.

Ce champ magnétique chauffe le gaz d'hydrogène mais insuffisamment pour atteindre la fusion :

On a donc aussi recours à des systèmes de chauffage externes.

L'hydrogène est donc chauffé et confiné dans le champ.

Le record de température obtenue dans un tokamak est de 500 millions de degrés .

Dans l'appareil, la fusion confinée dans le champ magnétique se tient donc à distance de la paroi, et les parois sont bombardées par les neutrons chargés en énergie issus de cette fusion. Ils transfèrent l'énergie aux parois sous forme de chaleur.

Plus tard il faudra chercher comment recueillir cette énergie transférée aux parois pour produire de la vapeur puis de l'électricité au moyen de turbine et d'alternateurs. Il faudra ensuite cette électricité

C/ Performances obtenues et rendement énergétique

1/Une des problématiques est d'obtenir une énergie supérieure à l'énergie consommée.

L'objectif d'ITER est de produire 500 MW sur 500 secondes à partir d'un apport de 50 MW.

Ce rendement appelé facteur d'amplification est appelé Q. L'objectif est $Q > 10$. Le $Q=1$ est appelé breakeven. L'ignition c'est lorsque la fusion entretient complètement le plasma et permet de suspendre les autres systèmes de chauffage : $Q = \infty$

2/Une centrale à charbon de 1000 MW brûle 2,7 millions de tonnes de charbon. Une centrale à fusion équivalente ne consommera que 250 kg d'hydrogène.

Par ailleurs à masse égale de substrat, la fusion produit 4 fois plus d'énergie de la fission, et 4 millions de fois plus que la combustion du charbon ou du pétrole

D/ Avantages de cette nouvelle énergie

- sûreté : pas de risque de fusion du cœur, en cas de dysfonctionnement, le plasma refroidit et les réactions s'arrêtent.
- absence de déchets : aucune production de CO_2 ni gaz à effet de serre. Le déchet principal est l'hélium gaz inerte inoffensif
les parois bombardées de neutrons seront radioactives mais pour une durée de seulement cent ans.
- combustibles très disponibles :
le deutérium est abondant dans la nature : il suffit de distiller l'eau.
Le tritium s'obtient par interaction entre neutrons et lithium. Le lithium est abondant dans la croûte terrestre et l'eau de mer ; on estime qu'il en existe assez sur terre pour couvrir les besoins sur 6 millions d'années

inconvénients sont : Difficulté de la technologie
coût 20 milliards d'euros ont déjà été investis

Conclusion : Ce projet ITER est donc la future étape de la maîtrise de la fusion et a pour but de démontrer la faisabilité scientifique de la fusion nucléaire contrôlée par confinement magnétique pour produire de l'énergie.

De nombreuses problématiques sont soulevées et mettent les scientifiques du monde entier devant de grands défis :

optimiser le rendement énergétique, développer des structures et matériaux

compatibles et exploitables, adapter nos connaissances terrestres en thermodynamiques pour les associer avec ces conditions extrêmes.
Le chemin est encore long et la fusion pourrait être l'énergie du 22ème siècle

Source :

_ ITER.org, ***C'est quoi ITER ?***

_ Sortie scolaire : Saint-Paul-lès-Durance